

PENGEMBANGAN ALGORITMA NEH DAN CDS UNTUK MEMINIMASI CONSUMPTION ENERGY PADA PENJADWALAN FLOW SHOP

Dana Marsetiya Utama

Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Malang

Kontak Person:

Dana Marsetiya Utama

Universitas Muhammadiyah Malang

Email: dana@umm.ac.id

Abstract

This article discusses the issue of permutation flow shop to reduce energy consumption. This article develops NEH and CDS algorithms to solve problems in flow shop scheduling to reduce energy consumption. This paper aims to develop and compare NEH and CDS algorithms. The proposed algorithm is checked on several numerical tests. During numerical experiments, the proposed NEH algorithm is more effective than the CDS algorithm.

Keywords: minimizing energy consumption, NEH, CDS, flow shop

Abstrak

Artikel ini membahas masalah penjadwalan permutasi flow shop untuk mengurangi konsumsi energi. Artikel ini mengembangkan algoritma NEH dan CDS untuk memecahkan masalah dalam penjadwalan flow shop untuk mengurangi konsumsi energi. Tulisan ini bertujuan untuk mengembangkan dan membandingkan algoritma NEH dan CDS. Algoritma yang diusulkan diperiksa pada beberapa tes numerik. Selama percobaan numerik, algoritma NEH yang diusulkan lebih efektif dibandingkan dengan algoritma CDS.

Kata kunci: minimasi konsumsi energi, NEH, CDS, flow shop

1. Pendahuluan

Energi telah menjadi salah satu sumber daya paling penting bagi perusahaan manufaktur. Menurut Fang, et al. [1], konsumsi energi di sektor industri menyerap sekitar 50% dari total konsumsi energi. Di Jerman, sektor manufaktur menggunakan lebih dari 47% dari total konsumsi energi nasional [2]. Di Cina, perusahaan manufaktur mengonsumsi sekitar 50% dari energi listrik nasional [3]. Sedangkan di Indonesia perusahaan manufaktur mengonsumsi sekitar 32% dari energi listrik nasional [4]. Umumnya, energi listrik dihasilkan dari bahan bakar fosil. Jadi, biaya perusahaan manufaktur meningkat seiring dengan melonjaknya harga bahan bakar fosil. Sementara itu, perusahaan menghadapi tekanan dari undang-undang dan peraturan lingkungan untuk mengurangi konsumsi energi selama proses produksi di perusahaan manufaktur.

Masalah untuk mengurangi konsumsi energi dalam proses manufaktur telah mulai banyak menjadi fokus penelitian. Salah satu usaha adalah melakukan penjadwalan yang efektif. Penjadwalan yang efektif dapat meminimasi tingkat konsumsi energi. Penjadwalan adalah pengaturan sumber daya untuk melaksanakan banyak pekerjaan atau prosedur di dalam waktu tertentu [5]. Masalah penjadwalan diklasifikasi menjadi *flow shop* dan *job shop*. Pada kasus *job shop* umumnya menggunakan heuristik [6, 7] dan meta heuristik [8, 9]. Pada kasus *flow shop* beberapa prosedur sudah sangat banyak diteliti. Algoritma heuristik yang populer dipakai pada kasus *flow shop* umumnya adalah CDS [10] dan NEH [11, 12]. Beberapa algoritma meta heuristik yang sering di gunakan adalah *simulated annealing* [13]. Beberapa penelitian tersebut menggunakan performansi minimasi waktu penyelesaian (*makespan*). Kebanyakan model penjadwalan untuk meminimasi konsumsi energi yang ada melibatkan mesin tunggal [14], and [15], mesin paralel [16], pure *flow shop* [1], fleksibel (atau hybrid) *flow shop* Dai, et al. [2], pure *job shop* [17] [18], dan fleksibel *job shop* [19] [20].

Beberapa penelitian terdahulu untuk meminimasi konsumsi energi mulai banyak dilakukan. Namun, pada kasus permutation flow shop sangat sedikit. Dalam artikel ini, kami fokus pada permutation flow shop scheduling problem (PFSP) berdasarkan prinsip *Fixed Energy Consumption (FEC)* yang diusulkan Li, et al. [21]. Prinsip FEC adalah kebutuhan energi untuk persiapan operasi dan pelaksanaan operasi sangat mempengaruhi total kebutuhan energi di proses manufaktur. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan algoritma NEH dan CDS berdasarkan prinsip *Fixed Energy Consumption (FEC)* untuk meminimasi total konsumsi energi.

Seluruh isi makalah disiapkan sebagai berikut: Bagian 2 menawarkan asumsi, pernyataan masalah, dan algoritma yang diusulkan. Setelah itu, percobaan Komputasi, dan perbandingan algoritma dan evaluasi ditampilkan di Bagian 3. Akhirnya, bagian terakhir adalah kesimpulan di bagian 4.

2. Metode Penelitian

2.1 Asumsi masalah

Beberapa asumsi dalam penjadwalan flow shop; (1) urutan n job ($n = 1,2,3...i$) yang dikerjakan pada m mesin ($m = 1,2,3...j$) adalah sama, (2) Waktu proses untuk tiap-tiap job adalah t_{ij} , dimana menunjukkan waktu proses job ke- i dikerjakan di mesin ke- j , (3) semua mesin tersedia, (4) waktu set-up independent terhadap urutan pekerjaan dan masuk dalam waktu proses, (5) Job independent dengan job yang lain, (6) tiap job ketika dimulai akan diproses sampai selesai (tidak bisa disela), (7) tiap mesin berhenti ketika job terakhir pada tiap mesin selesai (tiap mesin yang berhenti independent dari mesin yang lain). Tujuan model ini adalah untuk meminimalkan total konsumsi energi (Z) (persamaan 1) [22]. Waktu idle total mesin j (I_j) dihitung berdasarkan waktu penyelesaian terakhir pada mesin j dikurangi total waktu sibuk mesin j untuk operasi pemrosesan ($I_j = T_j - B_j$) (Persamaan 1).

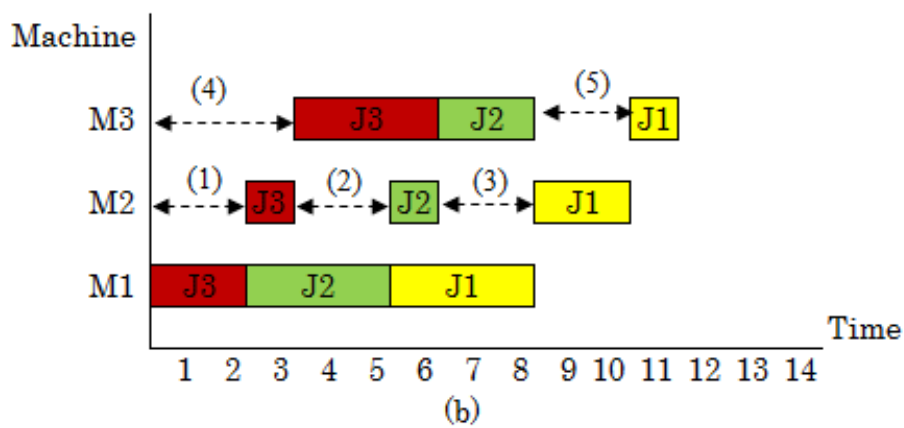
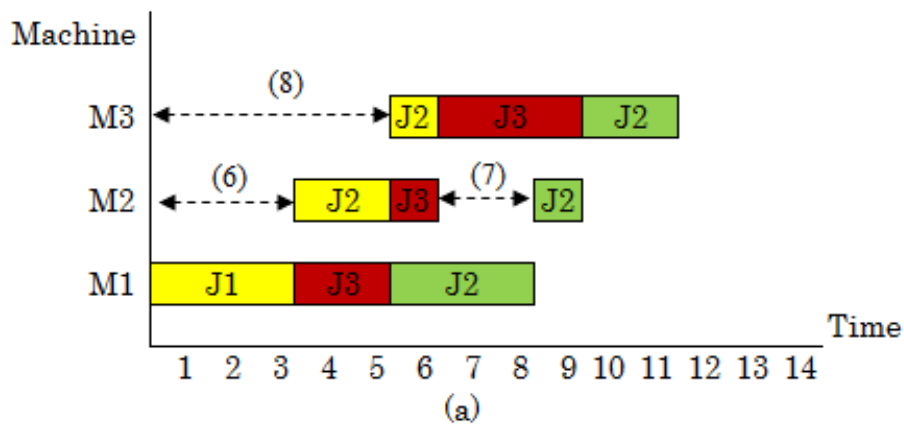
$$Z = \sum_{j=1}^m (B_j \cdot P_{ej} + I_j \cdot I_{ej}) \quad (1)$$

2.2 Definisi masalah

Masalah dalam kasus ini adalah untuk mengurangi penggunaan energi mesin yang terkait dengan FEC. Dalam sebagian besar situasi, waktu menganggur mesin tidak dapat dihindari. Khususnya, untuk masalah flow shop, beberapa mesin menganggur karena mereka menyesuaikan urutan pekerjaan dan menunggu pekerjaan selesai di mesin sebelumnya. Sebagai contoh soal numerik, ada 3 pekerjaan dan 3 mesin (Tabel 1). Terdapat 2 urutan pekerjaan. Gambar 1 a menunjukkan waktu penyelesaian setiap pekerjaan jika urutan J1, J3, J2 (a) adalah 8 untuk job 1, 9 untuk job 3 dan 11 untuk job 2. Sedangkan Gambar 1 b menunjukkan waktu penyelesaian setiap pekerjaan jika urutan J3, J2, J1 (b) adalah 8 untuk job 3, 10 untuk job 2 dan 11 untuk job 1. Kedua urutan (a dan b) memiliki *completion time* (makespan) yang sama, yaitu 11. Namun kedua urutan mempunyai konsumsi energi yang berbeda. Perhitungan konsumsi energi dihitung berdasarkan persamaan 1. Hasil perhitungan konsumsi energi untuk urutan J1, J3, J2 (a) adalah 42 W. Jika urutan J3, J2, J1 (b) konsumsi energinya adalah sebesar 43 W. Pada urutan (a) Total waktu idle adalah 10 satuan waktu. Sedangkan total waktu idle untuk urutan (b) adalah 11 satuan waktu. Sehingga waktu idle total dan FEC untuk urutan (a) lebih kecil dari (b). Selanjutnya, waktu idle dari setiap mesin mempengaruhi variasi dalam total konsumsi energi dalam masalah flow shop (Gambar 1). Oleh karena itu, konsumsi energi total dalam urutan (a) lebih kecil dari urutan (b).

Table 1 Tabel contoh numerik (waktu dalam jam)

Machines	jobs			Load	Idle
	J1	J2	J3	Power/w	Power/w
M1	3	3	2	2	1
M2	2	1	1	1	1
M3	1	2	3	2	1



Gambar 1 Flow Shop

2.3 Algoritma Usulan

Artikel ini mengusulkan 2 algoritma yang dikembangkan dari algoritma yang diusulkan oleh Campbell, et al. [10] dan Nawaz, et al. [11]. Dua algoritma tersebut awalnya digunakan untuk meminimasi *completion time* pada kasus permutasi flow shop. Selanjutnya, algoritma tersebut dikembangkan untuk meminimasi konsumsi energi berdasarkan Persamaan 1.

2.3 Pengembangan Algoritma CDS

Algoritma CDS merupakan algoritma yang dikembangkan dari algoritma Johnson [23]. Algoritma Johnson adalah aturan untuk minimasi *completion time* 2 dan 3 mesin yang disusun seri. Algoritma Johnson saat ini menjadi dasar peneliti dalam masalah teori penjadwalan khususnya pada kasus flow shop. Apabila terdapat m mesin pada kasus, maka pada CDS terdapat j solusi urutan yang penjadwalan. j dapat dihitung dengan $m-1$. Pada algoritma CDS, waktu proses di agregasi menjadi a_j dan b_j . Pada *stage 1*, $a_j = p_{1j}$ dan $b_j = p_{mj}$. Tahapan lengkap algoritma CDS yang telah dikembangkan untuk meminimasi konsumsi energi dapat dilihat pada Algoritma 1 (Tabel 2).

$$a_j = \sum_{k=1}^l p_{kj} \quad (2)$$

$$b_j = \sum_{k=m-l+1}^m p_{kj}$$

Tabel 2 Pseudocode Algoritma

Algorithm 1 CDS Usulan
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tetapkan nilai $j=1$ 2. Hitung nilai a_j dan b_j 3. Gunakan aturan Johnson untuk menghitung <i>completion time</i> dan konsumsi energi berdasarkan persamaan 1 4. Jika $j < m-1$, maka ulangi langkah 2 5. Tentukan urutan pekerjaan berdasarkan konsumsi energi terkecil 6. selesai

2.3 Pengembangan Algoritma NEH

Dalam studi ini, kami juga mengembangkan algoritma NEH baru sebagai solusi. Dalam algoritma murni NEH [11], total waktu pemrosesan setiap job di urutkan dari jumlah terbesar ke terkecil, kemudian dihitung menggunakan algoritma NEH dengan mencari makespan terbaik dari setiap jadwal parsial yang telah dibuat. Kami mengusulkan algoritma NEH baru untuk meminimalkan konsumsi energi. Pengembangan NEH baru berbeda dari NEH. Fase pertama adalah menyortir pekerjaan berdasarkan waktu terbesar sampai terkecil. Fase kedua adalah menghitung konsumsi energi untuk tiap jadwal parsial. Pengembangan algoritma NEH diilustrasikan dalam Algoritma 2 (Tabel 3).

Tabel 3 Pseudocode Algoritma

Algorithm 2 Usulan NEH
<ol style="list-style-type: none"> 1. Input: S = susun urutan jadwal berdasarkan waktu terbesar ke terkecil 2. Pilih urutan parsial 2 urutan job awal dan hitung konsumsi energi (persamaan 1) 3. Pilih jadwal parsial yang mempunyai konsumsi energi terkecil 4. for $k = 3$ to n do 5. periksa penyisipan tiap $S_{[k]}$ pada tiap kemungkinan σ dari 1 sampai $k + 1$ dalam urutan parsial σ. 6. Pilih urutan dari penyisipan job yang terbaik, urutan dipilih berdasarkan konsumsi energi terkecil (equation 1). 7. end for 8. return (s)

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini, kami melaporkan evaluasi dari pengembangan algoritma CDS dan NEH untuk menyelesaikan masalah penjadwalan permutasi flow shop. Kami menggunakan fungsi objektif untuk minimasi konsumsi energi. Bagian ini juga menjelaskan keefektifan 2 algoritma yang diusulkan. Waktu pemrosesan dihasilkan oleh distribusi uniform (1, 50). Energy power dihasilkan oleh distribusi uniform (1, 10) untuk setiap mesin. Dan juga, mesin power unload dihasilkan oleh distribusi uniform (1, 5) untuk semua mesin. Beberapa percobaan numerik digunakan beberapa kasus lingkungan manufaktur. Percobaan numerik diklasifikasikan ke dalam tiga kasus lingkungan manufaktur. Ini dinamai untuk pekerjaan besar, pekerjaan sedang, dan pekerjaan kecil. Kinerja dua algoritma diukur dengan Efficiency Index Persentase (EIP). EIP digambarkan sebagai rasio rata-rata konsumsi energi antara hasil algoritma improve NEH dengan algoritma CDS sesuai dengan persamaan (Persamaan 3). Pengembangan NEH memiliki kinerja yang lebih baik daripada algoritme CDS Jika $EIP < 100\%$. Kinerja yang sama jika $EIP = 100\%$. Algoritma CDS memiliki kinerja yang lebih besar daripada algoritma NEH jika $EI > 100\%$.

$$Efficiency\ Index\ Percentage\ (EIP) = \frac{NEH\ proposed\ algorithm}{CDS\ proposed\ algorithm} \times 100\% \quad (3)$$

3.1 Contoh Perhitungan Numerik

Berdasarkan tabel 1, selanjutnya di selesaikan dengan menggunakan algoritma NEH dan CDS rekapitulasi contoh perhitungan numerik untuk algoritma NEH dapat dilihat pada Tabel 4. Tabel 5 menunjukkan rekapitulasi contoh perhitungan numerik berdasarkan algoritma CDS. Berdasarkan

perhitungan NEH dan CDS menunjukkan bahwa algoritma NEH memberikan hasil konsumsi energi yang lebih efisien dibandingkan dengan algoritma CDS.

Tabel 4 Rekapitulasi contoh perhitungan numerik untuk algoritma NEH

Iterasi	Jadwal Parsial	Makespan	Konsumsi energi (watt)	Jadwal Parsial Terbaik
1	1-2	9	36	1-2
	2-1	9	37	
	1-2-3	11	43	
2	1-3-2	11	42	1-3-2
	3-1-2	11	42	3-1-2

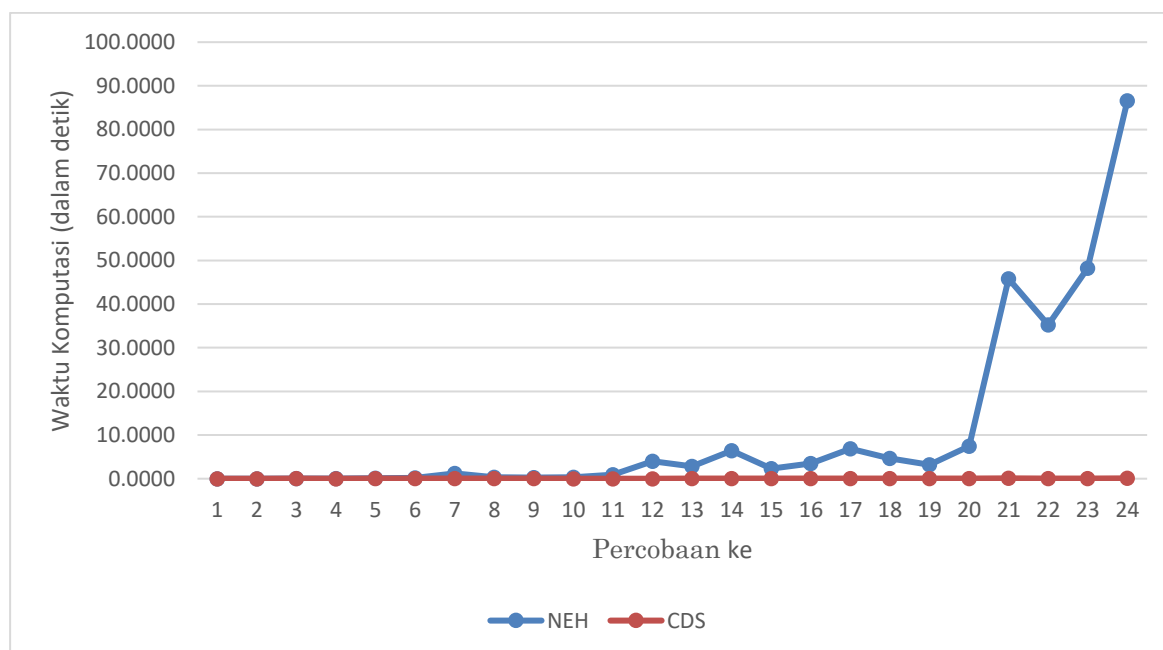
Tabel 5 Rekapitulasi contoh perhitungan numerik untuk algoritma CDS

j	Jadwal Parsial	Makespan	Konsumsi energi (watt)	Jadwal Parsial Terbaik
1	3-2-1	11	43	3-2-1
2	3-2-1	11	43	

3.2 Percobaan numerik

Berdasarkan percobaan numerik (pada Tabel 6), terlihat bahwa nilai Efficiency Index Persentase (EIP) untuk 49 kali percobaan menunjukkan bahwa algoritma NEH mempunyai performansi yang lebih baik dibandingkan dengan algoritma CDS. Lebih lanjut, untuk percobaan dengan jumlah mesin yang banyak menunjukkan nilai rata-rata EIP yang lebih rendah. Sehingga hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma NEH lebih efektif untuk jumlah mesin yang banyak.

Pada percobaan waktu komputasi untuk algoritma, hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu komputasi algoritma NEH mempunyai waktu yang relatif besar (Gambar 2). Waktu yang besar pada komputasi NEH disebabkan jumlah iterasi yang semakin banyak. Jumlah waktu komputasi pada NEH berbanding lurus dengan jumlah job yang di jadwalkan. Sedangkan pada CDS mempunyai waktu komputasi yang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena alternatif solusi yang diberikan algoritma CDS tergantung dari jumlah mesin yang tersedia



Gambar 2 Perbandingan waktu komputasi antara algoritma NEH dan CDS

Tabel 6 Hasil percobaan numerik algoritma NEH dan CDS untuk meminimasi konsumsi energi

Percobaan	n job	m mesin	Konsumsi energi (watt)		EIP
			NEH	CDS	
1	3	3	42	43	97,7%
2	5	5	1115	1117	99,8%
3	7	7	2776	2790	99,5%
4	9	3	1323	1331	99,4%
5	11	5	3566	3624	98,4%
6	13	7	6259	6287	99,6%
7	15	3	3339	3590	93,0%
8	17	5	12934	13878	93,2%
9	19	7	15004	16035	93,6%
10	21	3	8762	8828	99,3%
11	23	5	19986	20126	99,3%
12	25	7	36523	36900	99,0%
13	27	3	14201	14711	96,5%
14	29	5	33968	34761	97,7%
15	31	7	49819	50269	99,1%
16	33	3	24185	25819	93,7%
17	35	5	36982	37514	98,6%
18	37	7	41647	42397	98,2%
19	39	3	22568	23267	97,0%
20	41	5	49152	50272	97,8%
21	43	7	80345	81980	98,0%
22	45	3	20115	21613	93,1%
23	47	5	48999	50208	97,6%
24	49	7	76101	78316	97,2%
Rata-rata EIP					97,3%

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian menunjukkan algoritma algoritma NEH menghasilkan total konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan dengan algoritma CDS. NEH memberikan waktu komputasi yang lebih panjang. Waktu komputasi lebih panjang disebabkan karena jumlah iterasi NEH lebih banyak. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah menggunakan algoritma NEH yang dikombinasikan dengan algoritma metaheuristik.

Daftar Notasi

- i : indeks pekerjaan, $i = 1, 2, \dots, n$
- j : indeks mesin, $j = 1, 2, \dots, m$
- n : jumlah total pekerjaan.
- m : jumlah mesin
- P_{ij} : waktu proses pekerjaan i di mesin j
- Pe_j : indeks konsumsi energi mesin j untuk operasi pemrosesan
- Ie_j : indeks konsumsi energi mesin j untuk menganggur
- Si_j : waktu mulai pekerjaan i di mesin j
- Ci_j : waktu penyelesaian pekerjaan i di mesin j
- T_j : Waktu penyelesaian terakhir di mesin j
- B_j : total waktu sibuk mesin j untuk operasi pemrosesan

I_j : waktu idle total mesin j
 C_{max} : waktu penyelesaian pekerjaan terakhir di mesin terakhir
 Z : konsumsi energi total.

Referensi

- [1] K. Fang, N. Uhan, F. Zhao, and J. W. Sutherland, "A new approach to scheduling in manufacturing for power consumption and carbon footprint reduction," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 30, pp. 234-240, 2011.
- [2] M. Dai, D. Tang, A. Giret, M. A. Salido, and W. D. Li, "Energy-efficient scheduling for a flexible flow shop using an improved genetic-simulated annealing algorithm," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 29, pp. 418-429, 2013.
- [3] Y. Liu, H. Dong, N. Lohse, S. Petrovic, and N. Gindy, "An investigation into minimising total energy consumption and total weighted tardiness in job shops," *Journal of Cleaner Production*, vol. 65, pp. 87-96, 2014.
- [4] PLN, "Statistik PLN 2017," Jakarta (ID): Sekretariat PT. PLN (PERSERO), 2017.
- [5] K. T. Baker, Dan., *Principles of Sequencing And Scheduling*. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2009.
- [6] S. Harto, A. K. Garside, and D. M. Utama, "Penjadwalan Produksi Menggunakan Algoritma Jadwal Non Delay untuk Meminimalkan Makespan Studi Kasus Di CV. Bima Mebel," *Spektrum Industri*, vol. 14, 2016.
- [7] D. M. Utama, "Analisa Perbandingan Penggunaan Aturan Prioritas Penjadwalan Pada Penjadwalan Non Delay N Job 5 Machine," *Research Report*, vol. 1, 2017.
- [8] M. Husen, I. Masudin, and D. M. Utama, "Penjadwalan Job Shop Statik Dengan Metode Simulated Annealing Untuk Meminimasi Waktu Makespan," *Spektrum Industri*, vol. 13, 2015.
- [9] R. Nasution, A. K. Garside, and D. M. Utama, "Penjadwalan Job Shop Dengan Pendekatan Algoritma Artificial Immune System," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 18, pp. 29-42, 2017.
- [10] H. G. Campbell, R. A. Dudek, and M. L. Smith, "A heuristic algorithm for the n job, m machine sequencing problem," *Management science*, vol. 16, pp. B-630-B-637, 1970.
- [11] M. Nawaz, E. E. Enscore, and I. Ham, "A heuristic algorithm for the m-machine, n-job flow-shop sequencing problem," *Omega*, vol. 11, pp. 91-95, 1983.
- [12] I. Masudin, D. M. Utama, and F. Susastro, "Penjadwalan Flowshop Menggunakan Algoritma Nawaz Enscore Ham," *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. 13, pp. 54-59, 2014.
- [13] M. Firdaus, I. Masudin, and D. M. Utama, "Penjadwalan Flowshop Dengan Menggunakan Simulated Annealing," *Spektrum Industri*, vol. 13, 2015.
- [14] G. Mouzon, M. B. Yildirim, and J. Twomey, "Operational methods for minimization of energy consumption of manufacturing equipment," *International Journal of Production Research*, vol. 45, pp. 4247-4271, 2007.
- [15] G. Mouzon and M. B. Yildirim, "A framework to minimise total energy consumption and total tardiness on a single machine," *International Journal of Sustainable Engineering*, vol. 1, pp. 105-116, 2008.
- [16] H. Y. L. Fei, "Methods for integrating energy consumption and environmental impact considerations into the production operation of machining processes," *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, vol. 23, p. 1, 2010.
- [17] Y. He, F. Liu, H.-j. Cao, and C.-b. Li, "A bi-objective model for job-shop scheduling problem to minimize both energy consumption and makespan," *Journal of Central South University of Technology*, vol. 12, pp. 167-171, 2005.
- [18] M. A. Salido, J. Escamilla, F. Barber, A. Giret, D. Tang, and M. Dai, "Energy efficiency, robustness, and makespan optimality in job-shop scheduling problems," *AI EDAM*, vol. 30, pp. 300-312, 2016.
- [19] C. Zhang, P. Gu, and P. Jiang, "Low-carbon scheduling and estimating for a flexible job shop based on carbon footprint and carbon efficiency of multi-job processing," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, vol. 229, pp. 328-342, 2015.

- [20] L. Jin, C. Zhang, X. Shao, and G. Tian, "Mathematical modeling and a memetic algorithm for the integration of process planning and scheduling considering uncertain processing times," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, vol. 230, pp. 1272-1283, 2016.
- [21] W. Li, A. Zein, S. Kara, and C. Herrmann, "An Investigation Into Fixed Energy Consumption Of Machine Tools," in *Glocalized solutions for sustainability in manufacturing*, ed: Springer, 2011, pp. 268-273.
- [22] J.-q. Li, H.-y. Sang, Y.-y. Han, C.-g. Wang, and K.-z. Gao, "Efficient multi-objective optimization algorithm for hybrid flow shop scheduling problems with setup energy consumptions," *Journal of Cleaner Production*, vol. 181, pp. 584-598, 2018/04/20/ 2018.
- [23] S. M. Johnson, "Optimal two-and three-stage production schedules with setup times included," *Naval research logistics quarterly*, vol. 1, pp. 61-68, 1954.